

УДК 621.311.002.51

АВТОМАТИЗАЦИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ – ОПЫТ ИПУ РАН

Н.И. Менгазетдинов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: mengazne@yandex.ru

А.Г. Полетыкин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: poletik@inbox.ru

М.Е. Бывайков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: poletik@ipu.ru

В.Г. Промыслов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: v1925@mail.ru

Е.Ф. Жарко

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: zharko@ipu.ru

В.Б. Смирнов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: poletik@ipu.ru

К.В. Акафьев

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: akafyev@mail.ru

Ключевые слова: АСУ ТП, АЭС, автоматизация производства

Аннотация: Настоящий доклад посвящен описанию деятельности ИПУ РАН по автоматизации атомных электростанций.

1. Введение

Задача интеграции АСУ ТП при помощи СВБУ была поставлена АЭП и АСЭ в начале проекта АЭС «Бушер». Ряду российских организаций (АСЭ, АЭП, ЭНИЦ, ИПУ

РАН, НИИИС, ВНИИА, КИАЭ, ВНИИЭМ и др.) было поручено создание современной АСУ ТП для АЭС с реакторами ВВЭР, обладающей новыми функциональными возможностями, включая дисплейный способ управления, удовлетворяющей современным требованиям (МЭК, МАГАТЭ), реализованной на отечественных технических средствах.

Технический проект АСУ ТП АЭС «Бушер», разработанный ОАО «Атомэнергопроект», поставлен и вводится в эксплуатацию ЗАО «Атомстройэкспорт». Данный проект в целом и все подсистемы АСУ ТП по отдельности прошли полный жизненный цикл от технического проекта до ввода в опытную эксплуатацию, включая все необходимые этапы верификации, валидации в соответствии с требованиями МЭК 60880 [1-4]. Работы велись под контролем МАГАТЭ. Проект был протипажирован с учетом накопленного опыта, изготовлен, испытан и поставлен на энергоблок 1 (ЭБ1) и энергоблок 2 (ЭБ2) АЭС «Куданкулам».

СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер» [5], АЭС «Куданкулам» [6] представляет собой полностью отечественную лицензионно чистой разработку, выполненную по заказу АЭС.

На площадке АЭС «Бушер» (2007 г.) СВБУ АСУ ТП была введена в опытную эксплуатацию одной из первых, интенсивно использовалась на всех этапах пусконаладочных работ (ПНР) и исправно функционирует на этапах освоения мощности энергоблока.

СВБУ АСУ ТП ЭБ1 АЭС «Куданкулам» принята инозаказчиком и в настоящее время используется инозаказчиком при проведении пусконаладочных работ на энергоблоке.

1.1. Основные определения

СВБУ – система автоматического сбора, хранения, представления информации о текущем состоянии технологического объекта управления (ТОУ) и АСУ ТП, автоматизированного дистанционного формирования команд управления механизмами ТОУ и алгоритмами АСУ ТП.

СВБУ представляет собой распределенную вычислительную систему, основными элементами которой являются программно-технический комплекс (ПТК СВБУ) и прикладное программное обеспечение (ППО) СВБУ.

ПТК СВБУ – это продукция, представляющая собой совокупность программно-технических средств (ПТС), объединенных локальной вычислительной сетью (ЛВС), с установленным базовым программным обеспечением.

Базовое программное обеспечение включает Системное программное обеспечение (СПО), комплекс программ Рабочее программное обеспечение (РПО), входящий в комплекс программ «Рабочее программное обеспечение и Конфигуратор» (РПОиК) (прошедший верификацию [39-41] и не имеющий лицензионных ограничений для поставки на АЭС [42]) и программный комплекс администрирования технических и программных средств (АТПС) ПТК СВБУ.

ППО СВБУ - это совокупность комплексов программ, решающих задачи СВБУ (полный перечень задач СВБУ приведен в таблицах 1, 2, 3). В состав комплекса ППО входят рабочие базы данных (РБД СВБУ) и комплексы программ, решающие специальные задачи СВБУ.

Последние представлены задачами:

- системы представления параметров безопасности (СППБ);
- системы представления обобщенной информации по готовности каналов систем безопасности (СКГСБ);
- расчета технико-экономических показателей (ТЭП), выполненная в соответствии с требованиями [45, 46];

- автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР-412);
- защиты от несанкционированного доступа (ЗНСД).

РБД СВБУ – машинная база данных, формируемая инструментальным комплексом «Конфигуратор», предназначенная для работы совместно с РПО и описывающая конкретный технологический объект управления, в частности, АЭС «Бушер» или АЭС «Куданкулам».

2. Основные особенности

2.1. Полная лицензионная чистота и доступность исходных текстов

На все комплексы программ СВБУ, включая операционную систему и средства обеспечения информационной безопасности, имеется полный комплект программной документации, документов процесса верификации и справки о лицензионной чистоте, что позволяет удовлетворить текущие и перспективные требования заказчика. Для реализации СВБУ АСУ ТП на программной платформе РПОиК не требуется разработка каких-либо новых программ, за исключением Рабочих баз данных, учитывающих технологические особенности объекта назначения.

2.2. Соответствие российским и международным требованиям по качеству программного обеспечения

Все программное обеспечение разработано в соответствии с Российскими (ЕСПД [7-33], ГОСТ [34, 35]) и международными (МЭК 60880 [1-4]) стандартами и требованиями соответствующих программ обеспечения качества. В процессе верификации ПО СВБУ проводилась оценка качества программного обеспечения на основе факторов и критериев качества программных средств, в соответствии с нормативными документами [43, 44].

2.3. Доступность проектной, рабочей и эксплуатационной документации

Наличие полного комплекта документации, включая документацию по верификации и валидации, разработанной на всех этапах жизненного цикла в соответствии с требованиями МЭК [1-4], рекомендаций руководящего документа [36] и в соответствии с Методическими инструкциями [37, 38], обеспечивает возможность сертификации по существующим и перспективным требованиям в области безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры РФ.

2.4. Наличие поддержки ПО исключительно российскими разработчиками

Наличие в ОАО «ЭНИЦ», ИПУ РАН и ФГУП «ФНПЦ НИИИС» подразделений высококвалифицированных специалистов с опытом разработки, верификации и валидации ПО (программного обеспечения) для АЭС обеспечивает гарантированное решение вопросов эксплуатации, адаптации и модернизации ПО в условиях быстрого морального старения комплектующих и обеспечения современных требований по качеству и безопасности управления энергоблоком.

С минимальными затратами возможно проведение модернизации СВБУ и АСУ ТП в целом для вновь строящихся блоков в части:

- расширения функциональных возможностей СВБУ;

- совершенствования человеко-машинного интерфейса;
- совершенствование функциональных характеристик АСУ ТП;
- введение пусконаладочного режима работы СВБУ, облегчающего процедуры настройки параметров АСУ ТП при проведении пусконаладочных работ.

2.5. Масштабируемость и совместимость с вычислительными средствами различных типов

Оригинальные особенности программного обеспечения дают возможность не предъявлять высоких требований к техническим средствам по быстродействию и объемам памяти, что обеспечивает возможность установки ПО на технические средства от мобильных устройств до суперкомпьютеров и позволяет применять типовые решения для локализованных подсистем, ядерного острова, отдельных энергоблоков и многоблочных АЭС.

2.6. Устойчивость по отношению к киберугрозам

СВБУ АЭС «Бушер» является одной из первых систем управления, в которой при проектировании закладывался глубокий уровень защиты от несанкционированного доступа. Поэтому архитектура системы и интегрированные средства защиты обеспечивают устойчивость системы к кибератакам, возможность обнаружения нарушений в защите, до того как они приведут к отказу в реализуемых системой функциях.

2.7. Сжатые сроки поставки и ввода в действие

Сжатые сроки обеспечиваются отсутствием необходимости в разработке базового ПО (программная платформа «ОПЕРАТОР» поставляется в составе ПТК СВБУ и программно-технических средств СВБУ), минимизацией длительности этапа разработки прикладного ПО (РБД и технологических приложений), а также совместным опытом ОАО «ЭНИЦ», ИПУ РАН и ФГУП «ФПНЦ НИИИС» по разработке, изготовлению, поставке и проведению пусконаладочных работ СВБУ в составе АСУ ТП для энергоблоков АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам».

3. Краткая характеристика референтных проектов АСУ ТП АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам»

3.1. Реализуемые функции

СВБУ реализует информационные, управляющие и вспомогательные функции в составе АСУ ТП АЭС.

СВБУ предназначена для контроля и управления энергоблоком в режимах нормальной эксплуатации (НЭ) и режимах с нарушением нормальной эксплуатации (ННЭ), включая проектные аварийные режимы работы ЭБ АЭС, но без нарушения пределов и условий безопасной эксплуатации.

СВБУ предназначена для функционирования:

- на блочном пункте управления (БПУ), который по компоновке и информационным потокам разделяется на оперативный контур управления (БПУ-О), контур неоперативного управления (БПУ-Н) и контур супервизорного управления;
- на резервном пункте управления (РПУ);
- в цехе тепловой автоматики и измерений (ЦТАИ).

СВБУ обеспечивает интеграцию в единую систему всех подсистем АСУ ТП.

СВБУ является открытой, распределенной, расширяемой информационно-управляющей системой, предоставляющей разработчику возможность вводить функции «шаг за шагом» и добавлять новые приложения.

Реализация функций СВБУ обеспечивается решением информационных, управляющих и вспомогательных задач, приведенных в таблицах 1, 2, 3 соответственно.

Таблица 1. Состав информационных задач СВБУ.

№ п/п	Обозначение	Задачи
1	ЗИ-КП	Сбор данных о командах персонала
2	ЗИ-ПС	Анализ поступления сообщений и формирование протокола событий
3	ЗИ-СИ	Предоставление справочной информации
4	ЗИ-СКУД	Предоставление рекомендаций по управлению полем энерговыделения, формируемых в системе СКУД (ИР)
5	ЗИ-ДИ	Представление диагностической информации по работе технологического оборудования, поступающей от системы СКУД
6	ЗИ-НК	Анализ не прохождения команд дистанционного управления
7	ЗИ-СП	Отображение результатов анализа соответствия положения объектов управления поданным командам
8	ЗИ-Д	Отображение мнемосхем и видеограмм на видеомониторах, индикация текущего состояния объектов управления на видеомониторах
9	ЗИ-У	Отображение информации для управления на видеомониторах
10	ЗИ-С	Аварийная и предупредительная сигнализация на видеомониторах
11	ЗИ-РЗ	Представление информации по расчетным задачам и задачам анализа оперативного состояния и диагностики ТОО
12	ЗИ-РОА	Представление информации о режимах работы оборудования и автоматики
13	ЗИ-РТС	Регистрация и архивация текущего состояния ТОО и технологических событий, переходных процессов
14	ЗИ-РУВ	Регистрация приема, выдачи и обработки управляющих воздействий, введенных с СВБУ
15	ЗИ-РИК	Регистрация приема, выдачи и обработки управляющих воздействий, введенных при помощи ключей индивидуального управления
16	ЗИ-РЗО	Регистрация записей операторов и их архивация
17	ЗИ-РД	Распечатка данных за смену и периодических отчетов
18	ЗИ-ПБ	Представление параметров безопасности
19	ЗИ-СБ	Представление информации по готовности каналов СБ
20	ЗИ-ТЭП	Расчет ТЭП и отображение его результатов
21	ЗИ-РО	Архивация ресурса работы оборудования и диагностики его работы

Таблица 2. Состав управляющих задач СВБУ.

№ п/п	Обозначение	Задачи
1	ЗУ-ДУ	Дистанционное управление с видеомониторов РС оборудованием НЭ
		Управление локальными регуляторами с рабочих станций
		Контроль и управление режимом ТЗ (ТБ) с рабочих станций

Таблица 3. Состав вспомогательных задач СВБУ.

№ п/п	Обозначение	Задачи
1	ЗВ-С	Сбор и обработка информации о состоянии средств и систем АСУ ТП
2	ЗВ-Д	Диагностика технических и программных средств СВБУ
3	ЗВ-ЕВ	Ведение единого времени и присвоение метки времени при сборе диагностических данных
4	ЗВ-ИП	Информационная поддержка управления штатным функционированием системы

№ п/п	Обозначение	Задачи
5	ЗВ-ОУ	Операторское управление функционированием СВБУ
6	ЗВ-АУ	Автоматическое управление в части автоматического реконфигурирования резервируемых элементов ПТК СВБУ, рестарта системы после отказа по общей причине (обесточивания)
7	ЗВ-О	Обмен данными с СВСУ для АЭС «Куданкулам»
		Контроль за выполнением централизованного опробования защит ЦОЗ для АЭС «Куданкулам»
9	ЗНСД	Защита от несанкционированного доступа

3.2. Структурная схема

СВБУ включает следующие функциональные подсистемы, для которых разрабатываются соответствующие РБД подсистем (далее РБДП):

- информационную подсистему начальника смены блока (ИНС), обеспечивающую работу автоматизированного рабочего места (АРМ) начальника смены блока (НСБ), АРМ центра технической поддержки (ЦТП), АРМ локального кризисного центра (ЛКЦ) и как составную часть информационно-управляющей подсистемы НЭ резервного пункта управления (РПУ) (ИУ РПУ), состоящей из АРМ системы нормальной эксплуатации резервного пункта управления (СНЭ РПУ);
- информационно-управляющую подсистему реакторного отделения (РО) оперативного контура управления БПУ (ИУРО), обеспечивающую работу АРМ старшего инженера управления реакторного отделения (СИУР), АРМ системы безопасности (СБ)1, АРМ СБ2;
- информационно-управляющую подсистему турбинного отделения (ТО) оперативного контура управления БПУ (ИУТО), обеспечивающую работу АРМ старшего инженера турбинного отделения (СИУТ), АРМ электрической части (ЭЧ);
- информационно-управляющую подсистему неоперативного контура управления БПУ (ИУН), обеспечивающую работу АРМ В, АРМ П, АРМ СВО, АРМ РО/ТО, АРМ РК;
- подсистемы администрирования технических и программных средств (АТПС), обеспечивающую работу АРМ НС ТАИ, АРМ ИЭПО.

Автоматизированные рабочие места каждой из подсистем способны принимать информацию и осуществлять управление в проектных объемах от любых технологических подсистем АЭС.

Общее количество рабочих станций в системе, включая пульт радиационного контроля (УИК-47) и АРМ СПНИ – 23.

Общее количество серверов в системе, включая общеблочный сервер и сервера СРВПЭ – 9.

Резервируемая сеть СВБУ поддерживает передачу данных от шлюзов низовых ПТК в Систему регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ «Черный ящик»). СРВПЭ использует такую же программную платформу, что и СВБУ.

Для поддержания работоспособности СВБУ, в части модификации ППО, предусмотрена Система подготовки данных (СПД), обеспечивающая безопасное внесение изменений в РБД на этапах пуско-наладки и эксплуатации энергоблока.

Взаимодействие СВБУ с низовыми (смежными) ПТК АСУ ТП осуществляется через шлюзы этих ПТК, подключенных к ЛВС СВБУ. В шлюзах на программном уровне обеспечивается информационная совместимость всех абонентов сети СВБУ, что дополнительно к штатным связям СВБУ обеспечивает передачу данных по сети СВБУ в Систему регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ) и обмен данными между смежными ПТК.

В соответствии с Техническими проектами АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам» к таким ПТК относятся:

- система управления и защиты реакторной установки (АСУЗ УСБИ);
- комплекс электрооборудования системы управления и защиты (КЭ СУЗ);
- управляющие системы безопасности по технологическим параметрам (УСБТ);
- автоматизированная система радиационного контроля (АСРК), включая АСКРО;
- система контроля, управления и диагностики реакторной установки (СКУД);
- система автоматической противопожарной защиты (САППЗ);
- система контроля и управления реакторной установки (СКУ РО);
- система контроля и управления оборудованием спецводоочистки (СКУ СВО);
- система контроля и управления вентиляционным оборудованием (СКУ В);
- система контроля и управления турбинного отделения (СКУ ТО);
- система контроля и регулирования турбинной установки (СКРТ);
- система контроля и управления турбогенератора (СКУ ТГ);
- система контроля и управления электрической частью (СКУ ЭЧ).

На этапе интеграции СВБУ с низовыми ПТК для каждого из ПТК разрабатываются фрагменты РБД, которые могут автономно использоваться на этапах пуско-наладочных и планово-предупредительных работ по данным ПТК, и в дальнейшем интегрируются в состав РБД соответствующей подсистемы.

Проекты АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам» имеют следующие отличия:

Отличается кодировка сигналов и оборудования (на Бушере кодировка в системах АКЗ и ККС, в Куданкуламе только ККС). Поэтому РБД для Бушера имеет часть (перекодировка сигналов из одной системы в другую), которой нет в Куданкуламе. Соответственно автоматизированная процедура создания частных РБДП имеет различия для Бушера и Куданкулама.

Отличается состав смежных систем, с которыми интегрируется СВБУ:

- УСБТ для Куданкулама на основе УКТС, для Бушера на основе ТПТС,
- СКУ ЭЧ для Куданкулама на основе SICAM, для Бушера на основе ТПТС,
- САППЗ для Куданкулама на основе технических средств «Тензора» и ТПТС, для Бушера на основе только ТПТС,
- АСРК для Куданкулама на основе технических средств «Проминжиниринга», для Бушера на основе технических средств ПСЗ (СНИИП СистемАтом),
- новая система STD ГЦНА для Куданкулама,
- новая система СВС МПУ для Куданкулама.

Для Бушера источниками исходных данных в части интеграции низовых ПТК с СВБУ являются 4 организации: ВНИИА, ВНИИЭМ, СНИИП СистемАтом, СНИИП АСКУР (РНЦ КИ).

Для Куданкулама источниками исходных данных в части интеграции низовых ПТК с СВБУ являются 10 организаций: ВНИИА, ВНИИЭМ, СНИИП СистемАтом, НИЦ СНИИП (РНЦ КИ), Физприбор, Электропульт (АЭП), Тензор, Проминжиниринг, ЦКБМ (Энергонасос), НИИИС (АЭП).

Исходные данные для интеграции с каждым типом низовых ПТК имеют особенности, которые приходится учитывать в РБД СВБУ.

Отличается количество шлюзов смежных систем:

- СКУ СВО для Куданкулама имеет два шлюза, для Бушера один шлюз,
- АРК для Куданкулама имеет четыре шлюза, для Бушера два шлюза,
- АСУЗ для Куданкулама имеет два шлюза, для Бушера четыре шлюза,
- новый шлюз STD ГЦНА для Куданкулама,
- новые шлюзы СКУ ЭЧ и АСРК для СВСУ Куданкулама,

- новый шлюз СВС МПУ для СВСУ Куданкулама.

Состав шлюзов смежных систем оказывает существенное влияние на РБД СВБУ в части прямых и перекрестных связей со шлюзами низовых ПТК.

Отличаются структуры связей между шлюзами низовых ПТК через СВБУ:

- СКУД для Куданкулама получает данные от 15 шлюзов смежных низовых ПТК, для Бушера – от 10 шлюзов,
- новые связи СТД ГЦНА с 8 шлюзами смежных ПТК для Куданкулама,
- новые связи АСРК с 3 шлюзами смежных ПТК для Куданкулама.

Структуры подсистем СВСУ, НКЦ для Куданкулама не имеют аналогов для Бушера.

Таблица 4. Количественные характеристики проектов на основе программной платформы РПОиК.

Проект	Характеристики технических средств					Характеристики технологического объекта				
	Частота процесса	ОЗУ	Объем HDD	Кол-во рабочих станций	Кол-во серверов вкл. резерв.	Общее кол-во обрабатываемых сигналов	Кол-во аналоговых сигналов	Кол-во дискретных сигналов	Кол-во векторных сигналов	Кол-во выходных сигналов
СВБУ АЭС «Бушер»	560 МГц	256-512 МБ	4 ГБ	22	9	148275	9975	51186	67768	17490
УИК-47 АЭС «Бушер»	560 МГц	256-512 Мбайт	4 ГБ	1	–	5374	1978	1171	–	2225
СВБУ АЭС «Куданкулам»	1400 - 1600 МГц	512 - 2000 Мбайт	140 -160 Гбайт	24	9	204646	10943	77838	76418	20200
СВСУ АЭС «Куданкулам»	1400 - 1600 МГц	512 - 2000 Мбайт	140 -160 Гбайт	7	2	75640	7653	36559	31422	–
АРМ СКУ ХВО АЭС «Куданкулам»	1400 МГц	512 Мбайт	140 Гбайт	2	–	7370	165	5822	–	1383
АРМ СКУ КХНП АЭС «Куданкулам»	1400 МГц	512 Мбайт	140 Гбайт	2	–	2897	555	1000	494	848

3.3. Показатели назначения

3.3.1. Подтвержденные показатели назначения. Согласно формулярам ИГНД.421547.029ФО на ПТК СВБУ АЭС «Бушер» и 186.4252700.001.ФО на ПТК СВБУ АЭС «Куданкулам» подтверждаются следующие характеристики СВБУ:

Таблица 5. Характеристики СВБУ.

Наименование характеристики и единицы измерения	АЭС «Бушер»	АЭС «Куданкулам»	Примечание
Точность синхронизации внутренних часов абонентов ЛВС в системе единого времени, мс	не более 10 мс	не более 5 мс	

Наименование характеристики и единицы измерения	АЭС «Бушер»	АЭС «Куданкулам»	Примечание
Отсутствие потерь и искажения информации в архивах серверов при скорости архивации 600 аналоговых и 60 дискретных сигналов в секунду (проектный поток)	Соответствие	Соответствие	
Наличие диагностики и обеспечение администрирования технических и программных средств	Соответствие	Соответствие	
Обеспечение ведения единого времени	Соответствие	Соответствие	
Время автоматической реконфигурации, с	не более 5 с		
Работоспособность при единичных отказах ПТС	Работоспособность	Работоспособность	
Время прохождения сигналов от шлюза до их отображения на экране дисплея АРМ АТПС, с	не более 5 с		
Время прохождения сигналов от шлюза до их отображения на экране дисплея остальных АРМ (при проектном потоке), с	не более 2 с	не более 1,7 с	
Время прохождения команд оператора до шлюза (при проектном потоке), с	не более 2 с	не более 1,7 с	
Время передачи информации между шлюзами низовых ПТК (при проектном потоке), с	–	не более 1,7 с	
Время смены формата мнемосхем, содержащих до 200 динамических и статических элементов (при проектном потоке), с	не более 2 с	не более 2 с	
Время прохождения сигналов от шлюза до их отображения на экране дисплея (при потоке 900 сигналов в 1 с), с	–	не более 1,7 с	
Время прохождения команд оператора до шлюза (при потоке 900 сигналов в 1 с),	–	не более 1,7 с	
Время смены формата мнемосхем, содержащих до 200 динамических и статических элементов (при потоке 900 сигналов в 1 с),	–	не более 2 с	
Время прохождения сигналов от шлюза до их отображения на экране дисплея (в переходном режиме 8000 сигналов в 1 с), с	–	не более 4 с	
Время прохождения команд оператора до шлюза (в переходном режиме 8000 сигналов в 1 с),	–	не более 1,7 с	
Время смены формата мнемосхем, содержащих до 200 динамических и статических элементов (в переходном режиме 8000 сигналов в 1 с),	–	не более 2 с	
Время прохождения сигналов от шлюза до их отображения на экране дисплея (при придельном потоке 13000 сигналов в 1 с), с		не более 6 с	
Время прохождения команд оператора до шлюза (при придельном потоке 13000 сигналов в 1 с),		не более 2,5 с	

Наименование характеристики и единицы измерения	АЭС «Бушер»	АЭС «Куданкулам»	Примечание
Время передачи информации между шлюзами низовых ПТК (при предельном потоке 13000 сигналов в 1 с), с		не более 1,7 с	
Время вызова окон управления исполнительными механизмами, с	не более 2 с		
Регистрация в архивах серверов последовательности событий, отличающихся на время 20 мс и более	Соответствие		
Работоспособность при отказе по общей причине (обесточивании)	Работоспособность		
Наличие защиты от несанкционированного доступа	Соответствие		

Таблица 6. Характеристики СРВПЭ.

Наименование характеристики и единицы измерения	БУШЕР	Куданкулам	Примечание
Точность синхронизации (расхождение) внутренних часов абонентов ЛВС в системе единого времени, мс	не более 10 мс	не более 5 мс	
Регистрация информации без потерь при потоке до 2500 входных сигналов в 1 с	Соответствие	Соответствие	
Хранение без потерь и искажения информации в каналах СРВПЭ при скорости архивации 600 аналоговых и 60 дискретных сигналов в секунду (проектный поток), ч	–	Не менее 70 часов.	
Хранение без потерь и искажения информации в каналах СРВПЭ при скорости архивации 600 аналоговых и 60 дискретных сигналов в секунду (проектный поток) при поступлении сигнала инициирующего сигнала, ч		До поступления 30 часов После не менее 40 часов	

3.3.2. Достижимые показатели назначения. Показатели назначения СВБУ очевидно зависят от архитектуры ПО и производительности используемых ТС. Алгоритмы распараллеливания выполняемых задач, встроенные в программный комплекс РПО, позволяют линейно наращивать показатели назначения при увеличении вычислительной производительности и пропускной способности каналов связи в используемых технических средствах.

Показатели назначения, приведенные в п. 3.3.1 достигнуты на ТС 10 летней давности, что позволяет рассчитывать на улучшение показателей назначения в разы на современных технических средствах. Нами проведены выборочные оценки показателей назначения на современных ТС: подтвержден прием до 10 000 аналоговых и дискретных сигналов в секунду без потерь, что в четыре раза лучше показателя, указанного в п. 3.3.1.

Можно заключить, что система имеет глубокий задел по улучшению своих показателей без необходимости изменения основных проектных решений.

4. Структура и состав программного обеспечения

Состав ПО СВБУ АЭС «Куданкулам», включая ПО ПТК СВБУ, приведен на рис. 1.

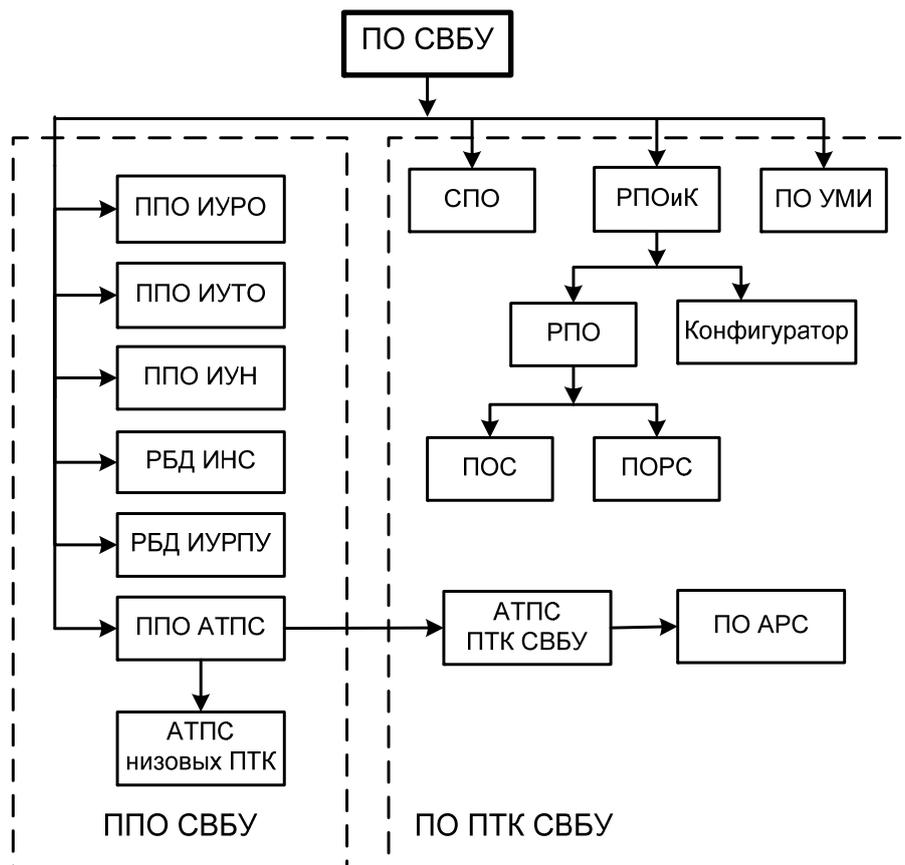


Рис. 1. Состав ПО СВБУ.

Основные функциональные характеристики СВБУ обеспечиваются программными комплексами:

Комплекс ПО ПТК СВБУ в составе:

- Системное программное обеспечение (СПО);
- Рабочее программное обеспечение и конфигуратор (РПОиК «ОПЕРАТОР»).

Комплексы прикладного программного обеспечения (ППО) в составе ППО ИУРО, ИУТО, ИУН, АТПС, ИНС, ИУ РПУ, которые определяют характеристики СВБУ, в части правил обработки входных/выходных сигналов и их представления на АРМ СВБУ, и разрабатываются на основе заданий на программирование, выдаваемых проектной организацией.

Все программы и программные комплексы для АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам» разработаны Институтом проблем управления РАН.

4.1. СПО LICS

Системное программное обеспечение (Linux Institute of Control Science) успешно прошло приемочные межведомственные испытания в 2001 г. и одобрено в 2003 г. Госатомнадзором России и ВО «Безопасность» для использования в составе программно-технических средств по классу ЗН ОПБ-88/97 [47]. В соответствии с требованиями МЭК 60880-2 выполнен полный объем работ по верификации и валидации LICS [48, 49].

Жизненный цикл СПО соответствует жизненному циклу программных средств важных для безопасности АЭС [50, 51]. СПО LICS применяется в программно-

технических средствах СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам», в системе управления машины перегрузочной 3-го блока КАЭС.

СПО характеризует:

- сбалансированность системы и проверенность ее компонентов;
- ориентация на промышленные системы;
- уникальная встроенная система самодиагностики;
- отсутствие лицензионных ограничений на поставку в составе другого изделия (со стороны третьих стран кроме законодательства РФ) [52];
- сквозная процедура верификации и высокая надежность;
- поставка СПО, учитывающего специфику решаемых задач (на заказ).

В состав пакетов СПО LICS входят следующие элементы:

- 1) ядро операционной системы;
- 2) системные библиотеки;
- 3) системные утилиты;
- 4) программы, расширяющие функции операционных систем для обеспечения работы в распределенных сетевых структурах.

Эти программы включают в себя:

- службы обмена данными по протоколам TCP/IP, FTP, NFS, TELNET;
- программы, реализующие графический протокол X-Window;
- средства настройки, диагностики и управления ресурсами локальной вычислительной сети (ЛВС);
- программы синхронизации времени по протоколу NTP.

4.2. Рабочее программное обеспечение и конфигуратор

Рабочее программное обеспечение и конфигуратор (РПОиК) успешно прошло приемочные межведомственные испытания в 2002г. и одобрено в 2003г. Госатомнадзором России и ВО «Безопасность» для использования в составе программно-технических средств по классу ЗН ОПБ-88/97 [47]. В соответствии с требованиями МЭК 60880-2 выполнен полный объем работ по верификации и валидации РПОиК.

Применяется:

- в СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам».
- в АРМ оператора системы химводоочистки (ХВО) АЭС «Куданкулам»;
- в АРМ оператора системы контроля, управления и электроснабжения комплекса холодоснабжения неотчетственных потребителей (СКУ КХНП) АЭС «Куданкулам».

Комплекс программ РПОиК включает в себя два основных субкомплекса:

- рабочее программное обеспечение (РПО);
- Конфигуратор.

РПО предназначено для реализации процесса сбора и обработки информации в составе работающей АСУ ТП. Его компоненты инсталлируются на ПТС СВБУ АСУ ТП и обеспечивают решение всего списка задач, перечисленных выше в таблицах 1-3.

Конфигуратор является системой автоматизированного проектирования, при помощи которой РПО настраивается на особенности АСУ ТП. Конфигуратор используется только в процессе разработки и наладки СВБУ АСУ ТП.

Конфигуратор представляет собой совокупность инструментов, обладающих возможностями для создания широкого спектра программно-технических комплексов, отличающихся по техническим средствам, операционным системам, а также числу и составу элементов.

Комплекс РПОиК обеспечивает технологию разработки многотерминальных систем. Это достигается путем инсталляции (и настройки с помощью Конфигуратора) спе-

специализированного субкомплекса РПО, который носит название программного обеспечения рабочей станции (ПОРС).

Копии ПОРС могут устанавливаться одновременно на нескольких рабочих станциях (от 1 до 16), расположенных в одном или нескольких помещениях. При этом каждая из рабочих станций может иметь один или два дисплея с единым логическим пространством.

Комплекс РПОиК позволяет создавать отказоустойчивые СВБУ АСУ ТП, обладающие высокими показателями надежности. Для этого используется технология горячего резервирования.

Комплекс РПОиК обеспечивает возможность приема/передачи скалярных и векторных сигналов различного назначения в/из смежные подсистемы АСУ ТП, оснащенные средствами вычислительной техники. Для этого служит специализированное интерфейсное программное обеспечение (ИПО), представляющее собой библиотеку программ, которая интегрируется в состав программного обеспечения шлюзов смежных подсистем.

Комплекс РПОиК включает в себя средства самодиагностики и функциональной диагностики ТС, на которых функционируют РПО. Для отображения ее результатов и для управления элементами РПО, функционирующими в рамках одной или нескольких распределенных подсистем, комплекс позволяет создавать системы контроля и управления второго уровня. При помощи этих систем осуществляется запуск элементов РПО, их останов, контроль за функционированием и другие сервисные и вспомогательные задачи, перечисленные в таблицах 2,3.

5. Состав работ

Типовой состав работ по созданию СВБУ включает в себя:

- Разработку технического задания;
- Разработку программы обеспечения качества;
- Изготовление (включая установку и наладку базового ПО) и заводские испытания ПТК СВБУ;
- Разработку РБД в части интеграции с низовыми (смежными) ПТК;
- Разработку ППО (программирование технологических приложений (спецзадач), РБД в части видеокадров);
- Выпуск эксплуатационной документации в соответствии с требованиями российских и международных нормативно-технических документов (НТД) [3, 4, 7-35];
- Установку ППО и приемочные испытания ППО СВБУ на заводе изготовителе или Полигоне АСУ ТП;
- Верификацию и валидацию на всех этапах разработки и изготовления системы;
- Поставку и сопровождение монтажа оборудования ПТК СВБУ;
- Автономную наладку и испытания СВБУ на объекте;
- Совместные испытания СВБУ на объекте в составе АСУ ТП;
- Ввод в эксплуатацию, включая получение необходимых согласований и разрешений;
- Проведение обучения и передача технологий сопровождения и модификации ПО СВБУ персоналу АЭС, включая обучение операторскому интерфейсу;
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Таблица 7. Типовой состав работ по созданию СВБУ.

№	Наименование этапа	Срок выполнения работ	Трудозатраты (чел/мес)	Исполнитель, соисполнители
	Разработка и согласование технического задания на СВБУ	T0 + 6 мес		
	Разработка программы обеспечения качества	T0 + 3 мес		
	Изготовление ПТК СВБУ	T0 + 15 мес		
1	Изготовление программно-технических средств (ПТС) СВБУ, включая модификацию СПО для ПТС нового поколения	T0 + 9 мес		
2	Сборка, инсталляция базового ПО и наладка ПТК СВБУ	T0 + 11 мес		
3	Приемочные испытания поставочного комплекта ПТК СВБУ на Полигоне завода-изготовителя	T0 + 12 мес		
	Обучение персонала АЭС правилам эксплуатации и администрирования ПО ПТК СВБУ			
4	Поставка, сопровождение монтажа и автономная наладка ПТК СВБУ на площадке АЭС	T0 + 18 мес		НИИИС
	Разработка прикладного программного обеспечения (ППО) СВБУ	T0 + 16 мес		
1	Разработка и тестирование РБД в части интеграции с низовыми (смежными) ПТК	Определяется сроками готовности низовых ПТК		
2	Разработка РБД в части видеокадров, интеграция и тестирование подсистем СВБУ, включая СРВПЭ на Полигоне АСУ ТП			АЭП, ИПУ, Разработчики ПТК смежных подсистем, ЭНИЦ
3	Разработка ПО спецзадач СВБУ			ИПУ, АЭП
5	Разработка и выпуск комплекта эксплуатационной документации на СВБУ, СРВПЭ.			
5	Приемочные испытания РБД подсистем СВБУ, СРВПЭ на заводе-изготовителе/Полигоне АСУ ТП	T0 + 18 мес		ИПУ
	Изготовление и поставка эксплуатационной документации и носителей ППО на площадку	T0 + 18 мес		
	Поставка системы подготовки данных, включая обучение персонала правилам внесения изменений и администрирования ППО СВБУ	T0 + 24 мес		ИПУ
	Комплексная наладка СВБУ в составе АСУ ТП и передача в опытную эксплуатацию	T0 + 20 мес		ИПУ, ЭНИЦ
	Наладка и комплексные испытания СВБУ в части интеграции с низовыми ПТК	T0 + 19 мес		
	Испытания подсистем СВБУ	T0 + 22 мес		
	Передача СВБУ в опытную эксплуатацию	T0 + 24мес		ИПУ
	Обучение операторов технологов операторскому интерфейсу СВБУ			

6. Возможные преимущества использования СВБУ проектов АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам»

- 1) Сокращение сроков и снижение стоимости поставки СВБУ для строящихся и модернизируемых АЭС.
- 2) Возможность модернизации СВБУ и АСУ ТП в целом в части:
 - расширения функциональных возможностей СВБУ;
 - совершенствования человеко-машинного интерфейса;
 - совершенствование функциональных характеристик АСУ ТП;
 - введение пусконаладочного режима работы СВБУ, облегчающего процедуры настройки параметров АСУ ТП при проведении пусконаладочных работ.
- 3) Возможность обеспечения уровня кибербезопасности в соответствии с современными требованиями.
- 4) наличие исходного (верифицированного и свободного от закладок) кода программ доступного для инспекции.
- 5) встроенная настраиваемая система проверки целостности.
- 6) наличие модели безопасности, позволяющей осуществить формальную верификацию и доказательство безопасности системы.
- 7) открытость системы для применения в ее составе современных средств идентификации и авторизации.
- 8) Возможность использования СВБУ в качестве референтной для конкурентоспособной АСУ ТП АЭС ТОИ.

В качестве прототипа СВБУ АСУ ТП АЭС ТОИ предлагается Информационно-управляющая подсистема реакторного отделения (ИУРО) СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам». Данная подсистема обеспечивает выполнение всех показателей назначения СВБУ и интегрирует в единое целое следующее оборудование АСУ ТП:

- систему контроля и управления реакторного отделения (СКУ РО);
- систему управления и диагностики реакторной установки (СКУД);
- комплекс электрооборудования СУЗ;
- систему радиационного контроля АСРК;
- иницилирующей частью подсистемы аварийной и предупредительных защит УСБ АЗ-ПЗ;
- управляющей системой безопасности технологической (УСБТ);
- систему технической диагностики ГЦН.

Подсистема принимает сигналы от системы контроля и управления турбинного отделения (СКУ ТО), систем управления вентиляцией и пожарной защиты в объемах, необходимых для представления на автоматизированных рабочих местах СИУР и НСБ.

На БПУ подсистема представлена 4-мя рабочими станциями АРМ СИУР, 2-мя рабочими станциями АРМ СБ, рабочей станцией АРМ НСБ, рабочей станцией АРМ ЦТП.

На РПУ подсистема представлена 3-мя рабочими станциями.

В подсистему интегрировано программное обеспечение задач:

- представление параметров безопасности (СППБ);
- контроль готовности систем безопасности (КГСБ);
- расчет ресурса оборудования (САКОР);
- представление информации по воднохимическому режиму 1-го контура (ВХР1).

Таким образом, подсистема ИУРО СВБУ АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам» по своей сути является верхним уровнем интегрированной АСУ ТП, реализующей функции СКУ РО/СКУ РУ для реакторов ВВЭР.

6.1. Обеспечение конкурентоспособности

- 1) Все программное обеспечение, применяемое в СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам», может использоваться как референтное; не имеет лицензионных ограничений, поскольку используются только разработки ИПУ РАН и других российских организаций;
- 2) На все программное обеспечение имеются исходные тексты программ;
- 3) Все программные компоненты прошли верификацию и валидацию в соответствии с требованиями МЭК 60880 [1-4], 61513 [53];
- 4) Все программные комплексы:
 - системное программное обеспечение (СПО);
 - рабочее программное обеспечение и конфигуратор (РПОиК);
 - интерфейсное программное обеспечение (ИПО);
 - рабочие базы данных СВБУ АЭС «Бушер»;
 - рабочие базы данных СВБУ АЭС «Куданкулам». прошли полный цикл испытаний и приемку МВК.
- 5) Оригинальные особенности программного обеспечения дают возможность не предъявлять высоких требований к техническим средствам по быстродействию и объемам памяти.
- 6) Наличие Интерфейсного программного обеспечения с открытым кодом делает АСУ ТП открытым, дает возможность расширения и замены на аналоги компонентов АСУ ТП.
- 7) АСУ ТП может быть дополнено Системой регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ).
- 8) Для реализации СВБУ АСУ ТП на программной платформе РПОиК не требуется разработка каких-либо новых программ, за исключением Рабочих баз данных, учитывающих технологические особенности объекта назначения.

Список литературы

1. IEC 60880, 1986. Software for computers in the safety systems of nuclear power stations.
2. IEC 60880-2:2000. Software for computers important to safety for nuclear power plants. Software aspects of defence against common cause failures, use of software tools and of pre-developed software.
3. IEC 60880 Ed. 2, 2006. Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety. Software aspects for computer-based system performing category A function. (ГОСТ Р МЭК 60880-2011. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории А.)
4. IEC 62138 Ed. 1. Nuclear Power Plants – Instrumentation and Control Computer-based systems important for safety. Software for I&C systems supporting category B and C functions. 2004. (ГОСТ Р МЭК 62138–2011. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории В и С.)
5. 460.0229530.51505.004.ТЗ. Система верхнего (блочного) уровня АСУ ТП атомной электростанции «Бушер-1» (СВБУ). Частное техническое задание. ИПУ РАН, 1999.
6. №813-345 (версия 7.1). Техническое задание. СВБУ. АСУ ТП. Блок 1,2 АЭС Куданкулам. ФГУП «ФНПЦ НИИИС», 2009.
7. ГОСТ 19781-90. Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения.
8. ГОСТ 19.101-77. Единая система программной документации. Виды программ и программных документов.
9. ГОСТ 19.102–77. Единая система программной документации. Стадии разработки.
10. ГОСТ 19.103-77. Единая система программной документации. Обозначения программ и программных документов.

11. ГОСТ 19.104–78. Единая система программной документации. Основные надписи.
12. ГОСТ 19.105–78. Единая система программной документации. Общие требования к программным документам.
13. ГОСТ 19.106–78. Единая система программной документации. Требования к программным документам, выполненным печатным способом.
14. ГОСТ 19.201–78. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.
15. ГОСТ 19.202–78. Спецификация. Требования к содержанию и оформлению.
16. ГОСТ 19.301–79. Единая система программной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению. Требования к содержанию и оформлению.
17. ГОСТ 19.401–78. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.
18. ГОСТ 19.402–78. Единая система программной документации. Описание программы. Требования к содержанию и оформлению.
19. ГОСТ 19.403–79. Единая система программной документации. Ведомость держателей подлинников.
20. ГОСТ 19.404–79. Единая система программной документации. Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению.
21. ГОСТ 19.501–78. Формуляр. Требования к содержанию и оформлению.
22. ГОСТ 19.502–78. Единая система программной документации. Описание применения. Требования к содержанию и оформлению.
23. ГОСТ 19.503–79. Единая система программной документации. Руководство системного программиста. Требования к содержанию и оформлению.
24. ГОСТ 19.504–79. Единая система программной документации. Руководство программиста. Требования к содержанию и оформлению.
25. ГОСТ 19.505–79. Единая система программной документации. Руководство оператора. Требования к содержанию и оформлению.
26. ГОСТ 19.506–79. Единая система программной документации. Описание языка. Требования к содержанию и оформлению.
27. ГОСТ 19.507–79. Единая система программной документации. Ведомость эксплуатационных документов.
28. ГОСТ 19.508–79. Единая система программной документации. Руководство по техническом обслуживанию. Требования к содержанию и оформлению.
29. ГОСТ 19.601–78. Единая система программной документации. Общие правила дублирования, учета и хранения.
30. ГОСТ 19.602–78. Единая система программной документации. Правила дублирования, учета и хранения программных документов, выполненных печатным способом.
31. ГОСТ 19.603–78. Единая система программной документации. Общие правила внесения изменений.
32. ГОСТ 19.604–78. Единая система программной документации. Правила внесения изменений в программные документы, выполненные печатным способом.
33. ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения.
34. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
35. ГОСТ 28388–89. Системы обработки информации. Документы на магнитных носителях. Порядок выполнения и обращения.
36. ANSI/ANS-10.4-1987; R1998: Guidelines for the Verification and Validation of Scientific and Engineering Computer Programs for the Nuclear Industry.
37. МИ 12-2003. Методическая инструкция. Общие требования к документам процесса верификации программного обеспечения. ИПУ РАН, 2003.
38. МИ 10-2-2005. Методическая инструкция. Верификация и валидация программного обеспечения. ИПУ РАН, 2005.
39. 460.0229530.00001-01 99 02. Рабочее программное обеспечение и Конфигуратор. Отчет о верификации частного технического задания. СВБУ. АСУ ТП АЭС. ИПУ РАН, 2002.
40. 460.0229530.00001-03 98 03. Рабочее программное обеспечение и Конфигуратор. Сводный отчет о верификации программного обеспечения. СВБУ. АСУ ТП АЭС. ИПУ РАН, 2012.
41. 460.0229530.00001-01 99 04. Рабочее программное обеспечение и Конфигуратор. Сводный отчет о верификации программного обеспечения. СВБУ. АСУ ТП АЭС. ИПУ РАН, 2002/
42. А/31-3422. Справка о лицензионной чистоте программного продукта 460.0229530.00001-2. ИПУ РАН. 23.05.2011.
43. ГОСТ 28195–89. Оценка качества программных средств. Общие положения.
44. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126–93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению.

45. РД 34.09.454. Типовой алгоритм расчета технико-экономических показателей конденсационных энергоблоков мощностью 300, 500, 800 и 1200 МВт.
46. РД ЭО 0296-01. Методические указания по составлению технического отчета об эффективности и тепловой экономичности работы атомной электростанции.
47. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ- 88/97. Госатомнадзор России, 1997.
48. 460.0229530.00100-06 99 01-1-9. Системное программное обеспечение. Сводный отчет о верификации программного обеспечения. СВБУ АСУ ТП АЭС. ИПУ РАН, 2002.
49. 460.0229530.00106-03 98 05. Системное программное обеспечение LICS 1000. Сводный отчет о верификации программного обеспечения. ПО систем важных для безопасности АЭС. ИПУ РАН, 2006.
50. 460.0229530.00100-01 97 03. Системное программное обеспечение. Анализ соответствия жизненного цикла СПО LICS жизненному циклу программных средств важных для безопасности АЭС. СВБУ АСУ ТП АЭС. ИПУ РАН, 2003.
51. 460.0229530.00106-03 98 06. Системное программное обеспечение LICS 1000. Оценка соответствия процесса разработки и верификации требованиям и положениям ИЕС 60880-2. ПО систем важных для безопасности АЭС. ИПУ РАН, 2007.
52. А/31-3419. Справка о лицензионной чистоте программного продукта 460.0229530.00106-03. ИПУ РАН. 23.05.2011.
53. ИЕС 61513. Nuclear Power Plants – Instrumentation and control for system important to safety. General requirements for systems. 2001. (ГОСТ Р МЭК 61513-2011. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования.)